

УДК 665.775+665.772

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.114

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА БИТУМА

Пыриг Я. И.<sup>1</sup>, Галкин А. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

**Аннотация.** Рассмотрены энергосберегающие добавки, применяемые в дорожной практике Украины. На основе экспериментальных данных установлено влияние рассмотренных энергосберегающих добавок на стандартные, адгезионные и реологические свойства нефтяных дорожных вязких битумов.

**Ключевые слова:** битум, энергосберегающая добавка, пенетрация, вязкость, адгезия, краевой угол смачивания.

### Введение

Приготовление асфальтобетонных смесей и устройство дорожных покрытий из них являются материал- и энергозатратными процессами. По данным А.В. Руденского [1], на приготовление асфальтобетонных смесей расходуется от 40 % до 50 % общих энергозатрат на устройство асфальтобетонных покрытий. При этом преобладающее количество затрат энергетических ресурсов приходится на нагрев каменных материалов и битумных вяжущих до технологических температур. В свою очередь высокие технологические температуры нагрева составляющих асфальтобетонных смесей приводят к интенсивному выделению в атмосферу вредных веществ (оксидов азота, СО, СО<sub>2</sub> и др.). В связи с этим вопросы, связанные с ресурсо- и энергосбережением при производстве асфальтобетонных смесей, являются актуальными.

### Анализ публикаций

Последние два десятилетия в США и странах Европы значительное внимание в дорожной отрасли уделяется вопросам, связанным со снижением технологических температур приготовления и уплотнения асфальтобетонных смесей. Это обусловлено, в первую очередь, необходимостью ограничения выбросов вредных веществ в атмосферу согласно Киотскому протоколу, принятому в 1997 г. [2], и общеевропейской программе «20-20-20», ориентированной на: снижение выбросов СО<sub>2</sub> на 20 % к 2020 г.; улучшение на 20 % энергоэффективности и увеличение на 20 % применения энергии из возобновляемых источников по сравнению с 1990 г. В результате многочисленных исследований в конце прошлого века были предложены «теплые» асфальтобетонные смеси, техноло-

гия приготовления которых основывалась на применении специальных энергосберегающих добавок или вспенивании битума [3, 4]. Первые покрытия из «теплых» асфальтобетонных смесей в Европе были устроены: в 1996 г. в Норвегии с использованием двухстадийной технологии WAM-Foat, основанной на предварительной обработке каменных материалов менее вязким битумом и последующим объединением со вспененным вязким битумом; в 1997 г. в Гамбурге с использованием добавки Sasobit; в 1999 г. в Германии с использованием добавки Aspha-min [4]. С 2004 г. применение «теплых» асфальтобетонных смесей было начато в США. В Украине исследования энергосберегающих добавок проводятся с 2007 до 2009 гг. в ДП «ГосдорНИИ» и ХНАДУ [5, 6], а асфальтобетонов на их основе на протяжении 2010–2011 гг.

В настоящее время «теплые» асфальтобетонные смеси используют практически во всех странах мира, а наибольшее распространение они получили в Германии, Франции, Испании, а также в США, где применяются для устройства как слоев оснований и покрытий, так и слоев износа [2, 4].

Энергосберегающие добавки, применяемые при приготовлении «теплых» асфальтобетонных смесей, имеют широкую, постоянно пополняемую номенклатуру и разделяются на два вида: органические и химические [7, 8]. К органическим добавкам относятся воски (Фишера-Тропша и Монтана) и амиды жирных кислот (Asphaltan, Sasobit, Licomont). По данным разработчиков, принцип их действия основан на резком снижении вязкости битумных вяжущих при технологических температурах, превышающих температуры плавления добавки. В области эксплуатационных температур органические

энергосберегающие добавки, как правило, способствуют упрочнению вяжущего (понижению пенетрации при 25 °С и увеличение вязкости) и расширению интервала пластичности за счет значительного увеличения температуры размягчения.

Действие химических добавок (Evotherm, Cescabase RT, Rediset, Iterlow T) направлено на улучшение смачивания вяжущим поверхности каменных материалов при более низких технологических температурах и уменьшении трения между частицами каменного материала при уплотнении асфальтобетонных смесей. В большинстве случаев, химические добавки являются комплексными – в их состав могут входить поверхностно-активные вещества, эмульгирующие агенты, полимеры и др. [7, 8], в результате чего их применение нацелено на улучшение адгезии вяжущих с каменным материалом и повышение водоустойчивости асфальтобетонов.

В Украине широкое распространение получили органические энергосберегающие добавки Sasobit и Licomont BS 100.

Sasobit является одной из первых энергосберегающих добавок, которые были использованы для приготовления «теплых» асфальтобетонных смесей [2, 4]. Добавка представляет собой мелкозернистое кристаллическое вещество – искусственный высокомолекулярный парафиновый воск (алифатический углеводород с длинной углеводородной цепью –  $C_{40} \dots C_{115}$ ), получаемый путем синтеза Фишера-Тропша. По данным производителя, компании Sasol Wax, температура плавления добавки находится в диапазоне от 85 °С до 115 °С. При температуре выше 120 °С Sasobit полностью растворяется в битуме, образуя при охлаждении пространственную кристаллическую структуру [9]. В европейских странах принята дозировка в битум 2,5 % от веса вяжущего, в США – 1,0 ... 1,5 % [7, 9].

Влияние Sasobit на свойства битумов и асфальтобетонов исследовалось как зарубежными [4, 9–10], так и отечественными исследователями [6]. Установлено, что введение добавки Sasobit в битум приводит к снижению пенетрации, значительному увеличению температуры размягчения, резкому снижению дуктильности и увеличению вязкости при эксплуатационных температурах. При технологических температурах (выше 120 °С) наблюдается снижение вязкости вяжущего, величина которого определяется концентрацией добавки [11]. Согласно [6, 12] Sasobit несколько увеличивает адгезионные

свойства вяжущего. Асфальтобетоны на вяжущем, модифицированном Sasobit, обладают лучшей уплотняемостью при технологических температурах, повышенной устойчивостью к колееобразованию. При этом добавка не оказывает влияния на водоустойчивость асфальтобетона [13]. Применение Sasobit позволяет снижать температуры приготовления и уплотнения асфальтобетонных смесей на 10 ... 30 °С [2, 7, 10]. В то же время, согласно данным [6], введение добавки Sasobit в количестве 3 % в окисленные битумы разных марок позволяет снизить технологические температуры приготовления асфальтобетонных смесей, установленные по температурно-вязкостным зависимостям, всего лишь на 5 ... 8 °С.

Добавка Licomont BS 100, представляющая собой амид жирной кислоты, выпускается швейцарской компанией «Clariant». По данным производителя, температура плавления добавки составляет 141–146 °С. Битумное вяжущее на основе Licomont BS 100 может сохранять свои свойства до восьми суток при выдерживании при температуре 160 ... 180 °С [7, 10], что подтверждается экспериментальными данными по сохранению физико-механических показателей качества после старения по методам RTFOT и PAV [13]. Общепринятым является введение Licomont BS 100 в битум в количестве 3 %. Отечественными [6] и зарубежными исследователями [7, 13–14] отмечено, что модификация битума добавкой Licomont BS 100 сопровождается уменьшением значений пенетрации и увеличением температуры размягчения в большей степени, чем при введении в битум равных концентраций Sasobit. Введение добавки Licomont BS 100 приводит к большему снижению вязкости вяжущего при технологических температурах, чем добавка Sasobit [14–15]. Согласно [12] Licomont BS увеличивает адгезию битумо-минеральных смесей, определенную по методу «вращающейся бутылки». Асфальтобетоны на основе битумов, модифицированных Licomont BS 100, характеризуются более высокими прочностными свойствами и повышенной колеестойкостью [5, 16], благодаря чему их рекомендуют укладывать в местах с повышенной нагрузкой [7]. По данным зарубежных исследователей и производителя, добавки за счет применения Licomont BS 100 возможно снижение температуры приготовления и укладки асфальтобетонных смесей на 20 ... 30 °С, в то же время как, по

данным отечественных исследователей [6], введение добавки приводит к снижению технологических температур на 4 ... 7 °С.

Постоянное расширение номенклатуры энергосберегающих добавок требует регулярного проведения исследований, направленных на установление их влияния на свойства битумов и асфальтобетонов. В 2019 г. на украинском рынке дорожных материалов появилась новая органическая энергосберегающая добавка Sarawax SX105, производимая компанией Shell MDS (Malaysia) Sendirian Berhad. По данным производителя, Sarawax SX105 представляет собой синтетический твердый парафин, состоящий из линейных молекул алканов, полимеризованный из природного газа при синтезе Фишера-Тропша. Добавка стабильна, имеет хорошую устойчивость к окислению, не содержит масла, серу и азот. Sarawax SX105 характеризуется температурой плавления 101 ... 108 °С и может использоваться для модификации дорожных битумов [17].

#### Цель и постановка задачи

Целью выполненной работы является сравнительная оценка влияния на свойства нефтяных дорожных битумов энергосберегающих добавок, применяемых в дорожной отрасли Украины – Sasobit и Licomont BS 100, а также новой добавки Sarawax SX105. Для достижения поставленной цели установлено влияние принятых в работе энергосберегающих добавок на свойства дорожных битумов, согласно требованиям ДСТУ 4044 [18] и СОУ 42.1-37641918-068 [19].

#### Объекты и методы исследования

Для приготовления битумных вяжущих был принят битум БНД 90/130 производства Мозырского НПЗ (Республика Беларусь). В качестве энергосберегающих использовались добавки Sasobit, Licomont BS 100 и Sarawax SX105, внешний вид которых представлен на рис. 1.

Модификация битума энергосберегающими добавками в количестве 2 % и 3 % осуществлялась в лабораторной мешалке, обеспечивающей скорость перемешивания около 1000 об/мин, при температуре 180 °С в течение 60 мин.

Для битумов, модифицированных принятыми в работе энергосберегающими добавками, были определены стандартные показатели качества, в соответствии с действующими

в Украине стандартами ДСТУ 4044 [18] и СОУ 42.1-37641918-068 [19]. Кроме этого определены показатели, более полно характеризующие свойства вяжущих: эквивалентная температура, соответствующая пенетрации 800 × 0,1 мм ( $T_{800}$ ); индекс пенетрации, рассчитанный по температуре  $T_{800}$  [20]; вязкость в температурном диапазоне от 60 °С до 150 °С; эквивалентные температуры, соответствующие вязкостям 0,5 Па·с (оптимальная температура нагрева вяжущих при приготовлении асфальтобетонных смесей) и вязкости 1,0 Па·с (оптимальная температура начала уплотнения асфальтобетонных смесей); адгезия, определенная по методу ДСТУ Б.В.2.7-81-98 [21]; краевой угол смачивания в интервале температур от 90 °С до 150 °С.



Sasobit Licomont BS100 Sarawax SX105  
Рис. 1. Внешний вид добавок

#### Стандартные показатели качества битумов, модифицированных энергосберегающими добавками

Стандартные показатели качества битумных вяжущих представлены в табл. 1. Свойства вяжущих, модифицированных принятыми концентрациями рассматриваемых в работе энергосберегающих добавок, удовлетворяют практически по всем показателям требования действующего в Украине СОУ 42.1-37641918-068 (исключения составляют значения адгезии для вяжущих на Licomont BS 100 и Sasobit до и после старения). Введение принятых энергосберегающих добавок приводит к структурированию исходного битума, что выражается в снижении пенетрации и дуктильности при 25 °С, увеличению температуры размягчения. После модификации меняется марка вяжущего с БНД 90/130 (согласно ДСТУ 4044) у исходного битума, на БМВ 60/90 (по нормам СОУ 42.1-37641918-068) у вяжущих с 2 % и 3 % добавки Licomont BS 100 и БМВ 40/60 у вяжущих с 2 % и 3 % добавок Sasobit и Sarawax SX105. По снижению пенетрации и дуктильности при температуре 25 °С (рис. 2, табл. 1) наибольшее структурирующее воздействие на исходный битум оказывает 3 % добавки Sarawax.

Таблица 1 – Стандартные показатели качества битумных вяжущих

Свойства	Исходный битум	Битум, модифицированный энергосберегающей добавкой						Нормы по СОУ42.1-37641918-068		
		Licomont BS 100		Sasobit		Sarawax				
Маркировка вяжущего	Б	BL2	BL3	BS2	BS3	BSr2	BSr3	БМВ 40/60	БМВ 60/90	
Содержание добавки, %	0	2	3	2	3	2	3	-	-	
Пенетрация при 25 °С, 0,1 мм	98	75	65	57	48	58	43	40...60	61...90	
Температура размягчения (Т <sub>р</sub> ), °С	46,9	61,2	83,2	62,1	74,0	66,6	78,0	≥ 62	≥ 47	
Температура хрупкости, °С	-16	-18,5	-16,5	-15	-15,5	-16,5	-16,5	≤ -10	≤ -12	
Дуктильность при 25 °С, см	129	55	47	61	37	51	36	≥ 20	≥ 24	
Сцепление со стеклом при 85 °С, %	11,7	8,5	15,5	10,3	23,6	24,5	70,1	≥ 32,0	≥ 20,0	
Индекс пенетрации, рассчитанный по температуре Т <sub>р</sub> (Π <sub>Т<sub>р</sub></sub> )	-0,27	2,40	5,49	1,78	3,35	2,66	3,65	-	-	
Интервал пластичности, °С	62,9	79,7	99,7	77,1	89,5	83,1	94,5	-	-	
Температура, при которой пенетрация составляет 800×0,1 мм (Т <sub>800</sub> ), °С	44,0	50,0	51,0	51,5	57,0	52,5	58,0	-	-	
Индекс пенетрации, рассчитанный по температуре Т <sub>800</sub> (Π <sub>Т<sub>800</sub></sub> )	-1,19	-0,19	-0,32	-0,53	0,31	-0,24	0,26	-	-	
Старение по ГОСТ 18180	Остаточная пенетрация, %	59,2	69,3	78,5	70,2	70,8	69,0	83,7	≥ 60	≥ 60
	Изменение Т <sub>р</sub> , °С	1,5	-3,2	-23,2	0,5	0,7	2,0	6,1	≤ 6,0	≤ 6,0
	Температура хрупкости, °С	-16	-18	-18,5	-14	-17	-16	-16	-	-
	Дуктильность при 25 °С, см	104	42	28	22	14	27	17		
Старение по ДСТУ Б EN 126607-1 (RTFOT)	Остаточная пенетрация, %	65,3	74,7	81,5	84,2	79,2	81,0	86,0	-	-
	Изменение Т <sub>р</sub> , °С	2,3	-4,9	-22,3	1,7	0,6	0,2	0,8	-	-
	Температура хрупкости, °С	-15,5	-17	-18	-16,5	-14,5	-17	-14	-	-
	Дуктильность при 25 °С, см	97	39	32	34	21	22	21		
Сцепление при 85 °С, %	8,6	6,3	11,6	5,1	15,1	31,9	66,6	-	-	

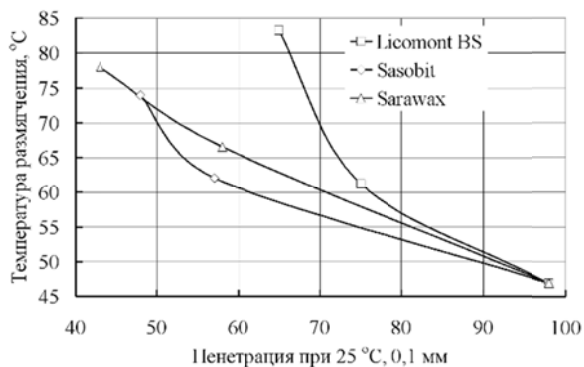


Рис. 2. Пенетрационные зависимости температуры размягчения вяжущих

В то же время наибольшее увеличение температуры размягчения наблюдается у битумного вяжущего с 2 % и 3 % Licomont BS 100, что объясняется высокой температурой плавления этой добавки (~ 140 °С). За счет значительного повышения температуры размягчения увеличивается индекс пенетрации этих вяжущих, определенный по температуре размягчения (т. е. стандартной формуле, приведенной в ДСТУ 4044), что может ошибочно свидетельствовать о снижении их температурной чувствительности

(значения индекса пенетрации увеличивается до 2,4 ... 5,49). Учитывая, что индекс пенетрации, рассчитанный по температуре размягчения, не позволяет корректно оценивать температурную чувствительность модифицированных вяжущих [22], в работе были рассчитаны индексы пенетрации по температуре, отвечающий пенетрации 800 × 0,1 мм (Т<sub>800</sub>) в соответствии с методикой, приведенной в ДСТУ 8859 [23]: экспериментально определены пенетрации вяжущих при температурах 5 °С, 15 °С, 25 °С и 35 °С; построены температурно-пенетрационные зависимости (рис. 3), по которым установлены значения эквивалентных температур Т<sub>800</sub>; по данным Т<sub>800</sub> рассчитаны значения индекса пенетрации Π<sub>Т<sub>800</sub></sub>.

В соответствии со значениями Π<sub>Т<sub>800</sub></sub> (табл. 1) и наклонами температурно-пенетрационных зависимостей (рис. 3) наибольшее снижение температурной чувствительности наблюдается у вяжущих с 3 % добавок Sarawax SX105 и Sasobit, в то время как у битума с 2 % и 3 % добавки Licomont BS 100 температурная чувствительность самая высокая.

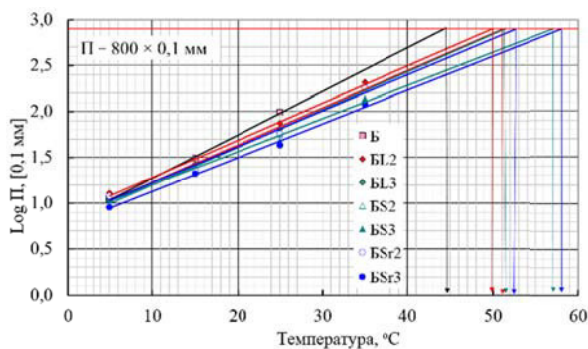


Рис. 3. Температурно-пенетрационные зависимости битумных вяжущих

Принятые в работе добавки приводят к значительному расширению интервала пластичности вяжущих (рис. 4), который тем шире, чем выше концентрация добавок. Увеличение интервала пластичности достигается исключительно за счет повышения температуры размягчения, поскольку температуры хрупкости всех битумных вяжущих находятся на уровне исходного битума. Неизменность температуры хрупкости, безусловно, можно отнести к преимуществам энергосберегающих добавок, поскольку эквивалентные чистые битумы характеризуются более высокими значениями низкотемпературных показателей. По значениям интервала пластичности ( $94,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и температурной чувствительности ( $\text{PP}_{\text{T}800} = 0,26$ ) наиболее эффективным является битум, модифицированный добавкой Sarawax SX105.

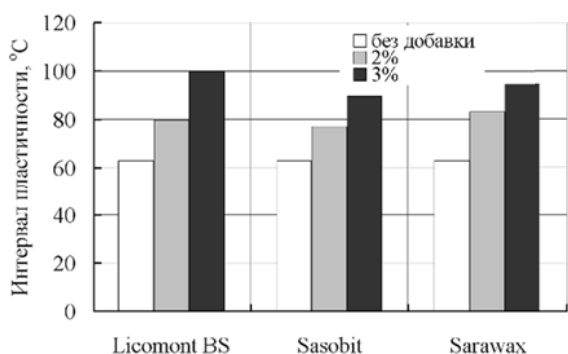


Рис. 4. Интервал пластичности вяжущих

Оценка изменения свойств модифицированных вяжущих после старения выполнена двумя методами: TFOT по ГОСТ 18180 и RTFOT по ДСТУ Б EN 126607-1. Полученные данные имеют противоречивый характер.

С одной стороны, модификация битума энергосберегающими добавками повышает устойчивость вяжущих к старению, что под-

тверждается ростом остаточной пенетрации с увеличением концентрации добавки в вяжущем (рис. 5). При этом более устойчивым к старению по показателю остаточной пенетрации, определенному как после старения по методу TFOT, так и методу RTFOT, является вяжущее, приготовленное с 2 % и 3 % добавки Sarawax SX105. С другой стороны, при увеличении содержания добавки в битуме после старения резко снижается дуктильность (в наибольшей степени у вяжущих с добавкой Sasobit, а в наименьшей степени у вяжущих с Licomont BS 100). При этом более интенсивное ухудшение дуктильности наблюдается после старения по методу TFOT, нормируемому по ГОСТ 18180.

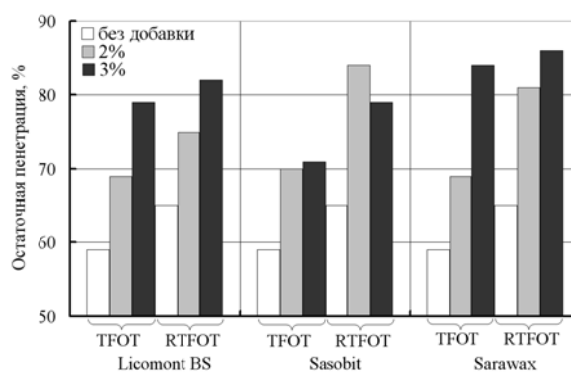


Рис. 5. Остаточная пенетрация вяжущих

Значения показателей изменения температуры размягчения после старения полностью противоречат значениям остаточной пенетрации. При наибольшей остаточной пенетрации у вяжущих с 2 % и 3 % добавки Sarawax SX105 значения температуры размягчения после старения возрастают до  $6,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В то же время значения температуры размягчения вяжущих, приготовленных со структурирующей добавкой Licomont BS, уменьшаются на  $3,2 \dots 4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $23,2 \dots 3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (соответственно при 2 % и 3 % добавки после старения по методам TFOT и RTFOT). Такое уменьшение значений температуры размягчения является характерным для вяжущих с добавкой Licomont BS 100, что подтверждается литературными данными [6, 24]. Согласно [24] чем выше пенетрация исходного битума, тем интенсивнее уменьшается температура размягчения после старения у вяжущего с Licomont BS 100. Таким образом, битумные вяжущие с добавкой Licomont BS 100 могут оказывать пластифицирующий эффект на асфальтобетонные смеси, что может способствовать улучшению их уплотняемости.

К преимуществам вяжущих, модифицированных энергосберегающими добавками, можно отнести повышение адгезионных свойств. При оценки адгезии вяжущих к поверхности стекла по методу, нормируемому в ДСТУ Б.В.2.7-81, с повышением концентрации добавок адгезия вяжущих увеличивается с 11,7 % у исходного битума до 70,1 % у вяжущего с 3 % Sarawax (рис. 6). Наименьшее повышение адгезии к стеклу наблюдается у вяжущих, модифицированных добавкой Licomont BS – адгезия возросла всего лишь до 15,5 % (при увеличении содержания добавки до 3 %).

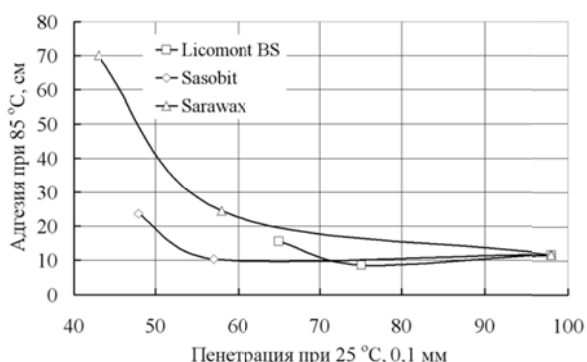


Рис. 6. Адгезия вяжущих к поверхности стекла

#### Реологические свойства модифицированных вяжущих

Одним из основных преимуществ вяжущих, модифицированных энергосберегающими добавками, является увеличение их вязкости при эксплуатационных температурах и резкое снижение вязкости при температурах, превышающих температуры плавления добавок [7, 8]. Благодаря такому эффекту возможно снижение температурных режимов приготовления и уплотнения асфальтобетонных смесей.

Динамическая вязкость вяжущих была определена при помощи пластовискозиметра ротационного ПВР-2 в широком температурном и скоростном диапазонах. В соответствии с полученными зависимостями вязкости от скорости сдвига и установленными значениями аномалий вязкости (табл. 3) можно сделать вывод, что при эксплуатационных температурах вяжущие с энергосберегающими добавками являются более структурированными.

При температуре 60 °С наибольшее структурирующее воздействие оказывает добавка Sarawax SX105 (рис. 7), что проявляется в снижении показателя аномалии вязкости.

С повышением температур выше 100 °С наблюдается снижение структурированности рассматриваемых вяжущих, что проявляется в уменьшении аномалии вязкости и проявлением ими поведения, характерного для структурного типа «золь» (табл. 3).

Таблица 3 – Значения коэффициентов аномалии вязкости вяжущих, модифицированных энергосберегающими добавками

Температура, °С	Аномалия вязкости для вяжущих						
	Б	BL2	BL3	BS2	BS3	BSr2	BSr3
60	0,89	0,76	0,57	0,60	0,50	0,56	0,43
90	0,92	0,92	0,82	0,88	0,86	0,85	0,85
100	0,94	0,95	0,88	0,97	0,94	0,98	0,90
110	0,97	0,97	0,91	1,00	0,95	0,99	0,93
120	1,00	0,98	0,96	1,00	0,98	1,00	1,00
130	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
140	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
150	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

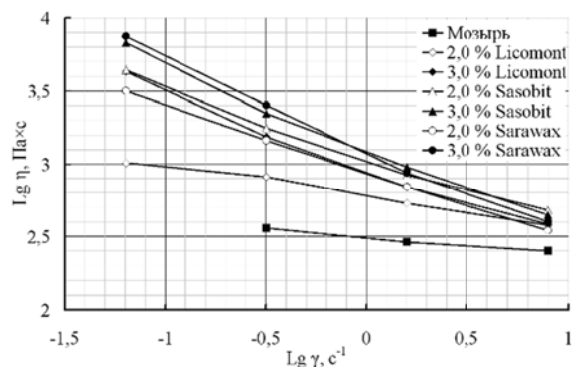


Рис. 7. Зависимость вязкости модифицированных вяжущих от скорости сдвига при температуре 60 °С

В области технологических температур для всех модифицированных вяжущих наблюдается падение значений вязкости ниже вязкости исходного битума. Для битумов с добавкой Licomont BS такой переход обнаруживается при температуре 110 °С и 116 °С (соответственно 2 % и 3 % добавки), для битумов с 2 % и 3 % добавки Sarawax соответственно при 103 °С и 112 °С и самая низкая температура перехода у битумов, модифицированных 2 % и 3 % Sasobit – 100 °С независимо от концентрации добавки (рис. 8).

На основании температурно-вязкостных зависимостей, построенных при равной скорости сдвига ( $40 \text{ с}^{-1}$ ), были установлены технологические температуры вяжущих, т. е. температуры, до которых целесообразно нагревать битумы при приготовлении асфальтобетонных смесей (температуры, соответствующие вязкости в  $0,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ) и темпера-



туры, соответствующие началу уплотнения уложенных в покрытие асфальтобетонных смесей (температуры, соответствующие  $1 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ). Для всех принятых в исследовании модифицированных вяжущих эти температуры лишь на  $2 \dots 4 \text{ }^\circ\text{C}$  ниже соответствующих технологических температур исходного битума (рис. 8). Таким образом, значительного энергосберегающего эффекта по температурно-вязкостным зависимостям для битумов, модифицированных принятыми в работе энергосберегающими добавками, не установлено. Энергосберегающий эффект может быть получен лишь в случае сравнения битумных вяжущих, модифицированных энергосберегающими добавками с битумом без добавок равной пенетрации [25].

Более важным, чем вязкость, при установлении технологических режимов применения битумов является такой показатель, как смачиваемость, критерием которого выступает краевой угол смачивания. Для принятых модифицированных вяжущих были установлены краевые углы смачивания методом «сидячей» капли на поверхности стекла в температурном диапазоне от  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $140 \text{ }^\circ\text{C}$  (рис. 9). Полученные данные свидетельствуют о резком снижении краевых углов смачивания модифицированных вяжущих при температурах, превышающих  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ . У битумов, модифицированных добавками Sasobit и Sarawax, при температурах соответственно  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $125 \text{ }^\circ\text{C}$  значения краевых углов смачивания становятся

равными и даже несколько меньшими, чем углы смачивания исходного битума, что может свидетельствовать о том, что при этих температурах модифицированные вяжущие будут несколько лучше обволакивать каменные материалы, чем чистый битум. В то же время, значения краевых углов смачивания битумов с добавкой Licomont BS во всем рассмотренном диапазоне температур превышают соответствующие значения углов смачивания исходного битума.

Исходя из данных, приведенных на рис. 9, энергосберегающий эффект от применения рассмотренных добавок так же не прослеживается. Возможной причиной того, что рассмотренные добавки не оказывают значительного энергосберегающего эффекта, могут быть структурные особенности окисленных битумов, применяемых в дорожной отрасли Украины. Окисленные битумы, в отличие от применяемых в США и странах Европы дистилляционных битумов, относятся к структурному типу «золь-гель», близкому типу «гель», и характеризуются наличием внутренней коагуляционной структурной сетки асфальтенов в растворе мальтенов. В этом случае пластифицирующий эффект от применения парафиновых восков может быть значительно меньшим, чем в случае использования данных добавок в битумах структурного типа «золь», свойства которых определяет надмолекулярная непрерывная структура смол.

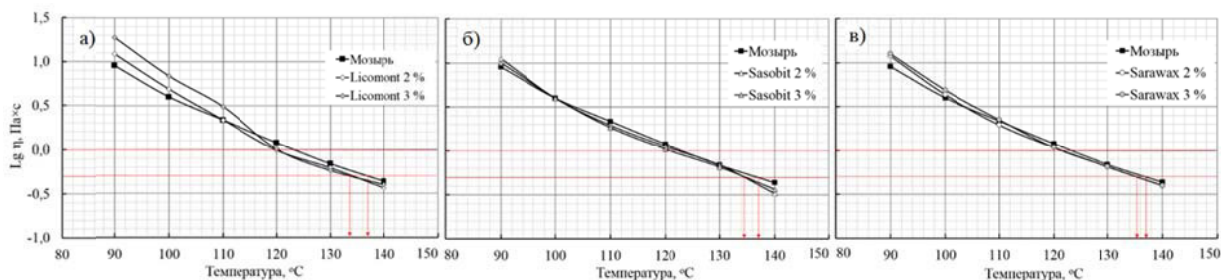


Рис. 8. Температурные зависимости вязкости вяжущих, модифицированных добавками Licomont (а), Sasobit (б), Sarawax (в)

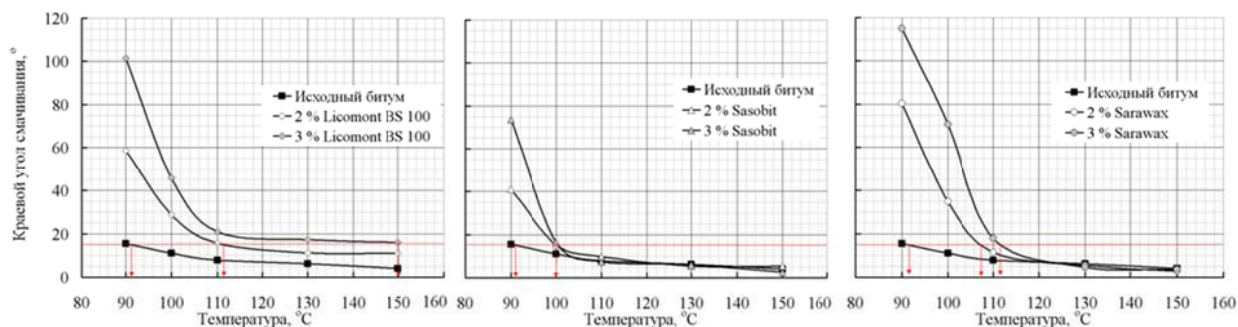


Рис. 9. Температурные зависимости краевых углов смачивания вяжущих, модифицированных добавками Licomont (а), Sasobit (б), Sarawax (в)

### Выводы

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

1. Все принятые в исследовании добавки оказывают на битум в основном структурирующее воздействие, выражаемое в снижении пенетрации при 25 °С, увеличении температуры размягчения, снижении дуктильности при 25 °С, значительном расширении интервала пластичности.

2. Наибольший структурирующий эффект оказывает добавка Sarawax. Вяжущие, модифицированные добавкой Sarawax, характеризуются не только значительно увеличенной температурой размягчения и существенным снижением пенетрации, но и увеличением адгезии и остаточной пенетрации, снижением температурной чувствительности. Это, в свою очередь, должно увеличивать прочность и водостойчивость асфальтобетонных, приготовленных на модифицированных вяжущих.

3. Для всех рассмотренных добавок не установлено значительного энергосберегающего эффекта, заключающегося в снижении технологических температур нагрева вяжущего при приготовлении асфальтобетонных смесей и их уплотнении, установленных по температурно-вязкостным зависимостям и температурным зависимостям краевых углов смачивания.

### Литература

1. Руденский А. В. Ресурсосбережение в строительстве на примере дорожной отрасли. *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)*. 2011. № 7. С. 4–8.
2. Kumar R., Chandra S. Warm mix asphalt investigation on public roads – a review. *Civil Eng Urban Plan Int J (CiVEJ)*. 2016. Vol. 3. № 2. P. 75–86.
3. Радовский Б. С. Технология нового тепло асфальтобетона в США. *Дорожная техника*. 2008. № 8. С. 24–28.
4. Prowell B. D., Hurley G. C., Frank B. Warm-mix asphalt: Best practices. – Lanham, MD: National Asphalt Pavement Association, 2012. 72 p.
5. Вирожемський В. К., Кіщинський С. В. Вплив структуруючої добавки Licomont BS 100 на властивості бітумів і асфальтобетонів. *Автошляховик України*. 2007. № 2. С. 38–40.
6. Золотарьов В. О., Пиріг Я. І., Галкін А. В. Технічні властивості в'язких дорожніх бітумів з добавками нафтових восків. *Автошляховик України*. 2009. № 1. С. 35–40.
7. An overview of the emerging warm mix asphalt technology / Kheradmand B. et al. *International*

- Journal of Pavement Engineering*. 2014. Vol. 15. № 1. С. 79–94.
8. Warm mix asphalt technology: a review / M. E. Abdullah et al. *Jurnal Teknologi*. 2014. Vol. 3. P. 39–52.
  9. Hurley G. C., Prowell B. D. Evaluation of Sasobit for use in warm mix asphalt. *NCAT report*. 2005. Vol. 5. № 6. P. 1–27.
  10. Warm-mix asphalt: European practice / J. D'Angelo et al.; United States. Federal Highway Administration. Office of International Programs, № FHWA-PL-08-007. 2008. 72 p.
  11. Yero S. A., Hainin M. R. Evaluation of bitumen properties modified with additive. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*. 2012. Vol. 13. № 1. P. 93–97.
  12. Comparative study of asphalt and binding agent properties using various viscosity-reducing additives. Institut dr.-ing. Gauer. Report № 5021-T2-I. 2006. 70 p.
  13. Button J. W., Estakhri C., Wimsatt A. A synthesis of warm-mix asphalt. № SWUTC/07/0-5597-1. Texas Transportation Institute, 2007. 94 p.
  14. Remisova E. Improvement in properties of bitumen using selected additives. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Road and Rail Infrastructure*. 17–19 may 2018, Zadar, Croatia. 2019. 8 p.
  15. Remisova E., Holy M. Changes of properties of bitumen binders by additives application. *IOP conference series: Materials science and engineering*. 2017. Vol. 245. № 3. С. 1–7.
  16. Дослідження впливу модифікуючих добавок до бітуму на фізико-механічні властивості та коєстійкість дрібнозернистого асфальтобетону / В. К. Жданюк та ін. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2012. № 58. С. 130–133.
  17. Bitumen composition: pat. 11558711 США: US 2007/0199476A1; filed. D. Bobee, S. Lebigre, A. Seive, no. 10, 2006; pub. date Aug. 30, 2007.
  18. ДСТУ 4044-2001. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Чинний від 2002-01-01]. Вид офіц. Київ: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2001. 10 с.
  19. СОУ 45.2-00018112-068:2017. Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками на основі синтетичних восків. Технічні умови. [Чинний від 2017-01-09]. Вид офіц. Київ: ДП Укравтодор, 2017. 24 с.
  20. Пыриг Я. И. О показателе температурной чувствительности битумов. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2015. № 69. С. 128–133.
  21. ДСТУ Б.В.2.7-81-98. Будівельні матеріали. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Метод визначення показника зчеплення з поверхнею скла та кам'яних матеріалів [Чинний з 1999-03-01]. Вид. офіц. Київ: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1999. 5 с.



22. Пыриг Я. И. О показателе температурной чувствительности битумов. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2015. № 69. С. 128–133.
23. ДСТУ 8859:2019. Бітум та бітумні в'язучі. Метод визначення еквіпенетраційної температури та індексу пенетрації [Чинний з 2020-01-07]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ. 2019. 15 с.
24. Renken P. Walzasphalte mit viskositätsabsenkenden Additiven-Entwicklung und Optimierung der Erstund Kontrollprüfungsverfahren und Bestimmung der Einflüsse auf die performanceorientierten Asphalteeigenschaften. *AiF research project*, no. 15589 N (Technische Universität Braunschweig). 2012. 105 p.
25. Копинець І. В., Соколова О. Б., Соколов О. В., Юнак А. Л. Вплив добавок на основі синтетичних восків на експлуатаційні та технологічні властивості бітумів. *Дороги і мости*. 2019. Вип. 19–20. С. 107–116.

### References

1. Rudenskij, A.V. (2011). Resursosberezhenie v stroitel'stve na primere dorozhnoj otrasli. [Resource-saving in construction on the example of the road industry]. *MIR (Modernization. Innovation. Research)*, 7, 4–8 [in Russian].
2. Kumar, R., & Chandra, S. (2016). Warm mix asphalt investigation on public roads – a review. *Civil Eng Urban Plan Int J (CIVEJ)*, 3(2), 75–86.
3. Radovskij, B.S. (2008). Tehnologija novogo teplogo asfal'tobetona v SSHA [The technology of the new warm asphalt in the USA]. *Dorozhnaja tehnika*, 8, 24–28 [in Russian].
4. Prowell, B.D., Hurley, G.C., & Frank, B. (2012). *Warm-mix asphalt: Best practices*. Lanham, MD: National Asphalt Pavement Association.
5. Virozhems'kij, V.K., & Kishhins'kij, S.V. (2007). Vpliv strukturujuchoї dobavki Licomont BS 100 na vlastivosti bitumiv i asfal'tobetoniv [Influence of Licomont BS 100 structural additive on properties of bitumen and asphalt concrete]. *Avtošljahovik Ukraїni*. 2, 38–40. [in Ukrainian].
6. Zolotar'ov, V.O., Pirig, Ja.I., & Galkin, A.V. (2009). Tehnichni vlastivosti v'jazkih dorozhnih bitumiv z dobavkami naftovih voskiv [Technical properties of viscous road bitumen with the addition of petroleum waxes]. *Avtošljahovik Ukraїni*. 1, 35–40. [in Ukrainian].
7. Kheradmand, B., Muniandy, R., Hua, L.T., Yunus, R.B., & Solouki, A. (2014). An overview of the emerging warm mix asphalt technology. *International Journal of Pavement Engineering*, 15(1), 79–94.
8. Abdullah, M.E., Zamhari, K.A., Buhari, R., Khatijah, S., Bakar, A., Hidayah, N., & Hassan, S.A. (2014). Warm mix asphalt technology: a review. *Jurnal Teknologi*, 3, 39–52.
9. Hurley, G.C., & Prowell, B.D. (2005). Evaluation of Sasobit for use in warm mix asphalt. *NCAT report*, 5(6), 1–27.
10. D'Angelo, J., Harm, E., Bartoszek, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowser, J., ... & Prowell, B. (2008). *Warm-mix asphalt: European practice* (No. FHWA-PL-08-007). United States. Federal Highway Administration. Office of International Programs.
11. Yero, S.A., & Hainin, M.R. (2012). Evaluation of bitumen properties modified with additive. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 13(1), 93–97.
12. Institut dr.-ing. Gauer (2006). *Comparative study of asphalt and binding agent properties using various viscosity-reducing additives*. Report no. 5021-T2-I.
13. Button, J.W., Estakhri, C.K., & Wimsatt, A.J. (2007). *A synthesis of warm-mix asphalt* (No. SWUTC/07/0-5597-1). Texas Transportation Institute.
14. Remisova, E. (2019). Improvement in properties of bitumen using selected additives. *Proceedings of the 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure*.
15. Remisova, E., & Holy, M. (2017). Changes of properties of bitumen binders by additives application. In *IOP conference series: Materials science and engineering*. Vol. 245, no. 3, 1–7.
16. Zhdanjuk, V.K., Makarchev, O.O., Shrestha, R.B., Kostin, D.Ju., & Volovik, O.O. (2012). Doslidzhennja vplivu modifikujuchih dobavok do bitumu na fiziko-mehanični vlastivosti ta kolistijkist' dribnozernistogo asfal'tobetonu [Investigation of the influence of modifying additives to bitumen on the physical-mechanical properties and gauge resistance of fine-grained asphalt concrete]. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnoho universiteta*, 58, 130–133. [in Ukrainian].
17. Bobee, D., Lebigre, S., & Seive, A. (2007). *U.S. Patent Application*, no. 11/558, 711.
18. Viscous petroleum road bitumens. Specifications. (2002). *DSTU 4044-2001 from 1<sup>st</sup> January 2012*. Київ: Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Чинний від 2002-01-01]. Вид. офіц. Київ: Derzhavnij komitet budivnictva, arhitekturi ta zhitlovoї politiki Ukraїni [in Ukrainian].
19. Bitumi dorozhni v'jazki, modifikovani dobavkami na osnovi sintetichnih voskiv. Tehnichni umovi [Viscous bitumen, modified with additives based on synthetic waxes. Technical conditions]. *SOU 45.2-00018112-068:2017 from 1<sup>st</sup> September 2017*. Київ: DP Ukravtodor [in Ukrainian].
20. Pyrig, Ja.I. (2015). O pokazatele temperaturnoj chuvstvitel'nosti bitumov [About the indicator of temperature sensitivity of bitumen]. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnoho universiteta*. 69, 128–133 [in Russian].
21. Budivel'ni materialy. Bitumi naftovi dorozhni v'iazki. Metod viznachennia pokaznika zchepлення z poverkhneiu skla ta kam'ianikh materialiv [Building materials. Viscous road oil bitumens. The method to determine the index of engage-

- ment with the surface of glass and rock materials]. (1999). *DSTU B V.2.7-98:98 from 1<sup>st</sup> March 1999*. Kyiv: Derzhavnii komitet budivnitstva, arkhitekturi ta zhitlovoi politiki Ukraini [in Ukrainian].
22. Pyrig, J.I. (2015). O pokazatele temperaturnoj chuvstvitel'nosti bitumov [About the indicator of temperature sensitivity of bitumen]. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*, 69, 128–133 [in Russian].
23. Bitum ta bitumni v'jazhuchi. Metod viznachennja ekvipenetracijnoi temperaturi ta indeksu penetracii [Bitumen and bituminous binders. Method of determination of equipenetration temperature and penetration index]. (2019). *DSTU 8859:2019 from 1<sup>st</sup> July 2019*. Kyiv: SE "UkrNDNC" [in Ukrainian].
24. Renken, P. (2012). Walzasphalte mit viskositätsabsenkenden Additiven-Entwicklung und Optimierung der Erstund Kontrollprüfungsverfahren und Bestimmung der Einflüsse auf die performance-orientierten Asphalteeigenschaften. *AiF research project, no. 15589 N (Technische Universität Braunschweig)*.
25. Kopinets I., Sokolov O., Sokolova O., & Yunak A. (2019). Impact of additives based on synthetic waxes on the operational and processing characteristics of bitumen. *Dorogi i mosti*. Iss. 19–20, 107–116 [in Ukrainian].

**Пыриг Ян Иванович**, к.т.н., ст. научн. сотрудник каф. технологии дорожно-строительных материалов и химии, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина, Харьков, 61002, ул. Ярослава Мудрого, 25, тел. + 38 098-44-66-268, e-mail: [pirig2000@gmail.com](mailto:pirig2000@gmail.com)

**Галкин Андрей Владимирович**, к.т.н., ст. научн. сотрудник каф. технологии дорожно-строительных материалов и химии, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина, Харьков, 61002, ул. Ярослава Мудрого, 25, тел. +38 067-799-64-32, e-mail: [a.galkin0906@gmail.com](mailto:a.galkin0906@gmail.com)

### Comparison evaluation of the effect of energy-saving additives on bitumen properties

**Abstract. Problem.** Last 20 years the energy-saving additives have got widespread in Ukraine road construction industry. The aim of the energy-saving additives use is to decrease the temperatures of mixing and compaction of the asphalt mixtures. According to the suppliers' data, this decrease can be in a range of 20 – 30 °C, which saves the energy and results in reduced pollution during the construction process. **Goal.** The aim of this research is to evaluate the changes in bitumen properties, caused by the energy-saving additives, such as Sasobit, Licomont BS 100, and a new one Sarawax SX105. **Methodology.** The standard performance indicators are obtained

for the bitumen, modified by these additives, according to the government actual standards. Besides, the indicators that can give more comprehension about the binder properties are found. It refers to the adhesion, temperature susceptibility (temperature of equal penetration and a penetration index calculated by a temperature of equal penetration), viscosity in a wide range of temperature and a shear rate, the mixing and compaction temperatures for the mixtures with the modified binders, wetting angle in a wide temperature range. **Originality.** According to the obtained data, bitumen is getting structured by all energy-saving additives that are chosen as a research objects. It results in penetration decrease at 25 °C, increase in a softening point temperature, reduction in ductility at 25 °C, significantly extending the plasticity interval. The Sarawax additive provides the most structuring influence. Binders with this additive are characterized not only by a significant increase in softening point temperature and a penetration decrease, but by an adhesion and a residual penetration increase, and decrease in temperature susceptibility. As a consequence, it can improve strength and waterproof resistance of the asphalt concrete with binders modified by energy-saving additives. **Practical value.** For all the additives no energy-saving effect was proved, which lies in decreasing technological temperatures of heating binders when making asphalt-concrete mixes and their hardening established both by their temperature-viscous dependences and by temperature dependences of the outer angles of wetting.

**Keywords:** bitumen, warm mix additive, penetration, viscosity, adhesion, wetting angle.

**Pyrig Yan, S.** Researcher, Ph.D. (Eng.), The department of technology of road-construction materials, Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. + 38 098-44-66-268, e-mail: [pirig2000@gmail.com](mailto:pirig2000@gmail.com)

**Galkin Andrey, S.** Researcher, Ph.D. (Eng.), The department of technology of road-construction materials, Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. +38 067-799-64-32, [a.galkin0906@gmail.com](mailto:a.galkin0906@gmail.com)

### Порівняльна оцінка впливу енергозберігаючих добавок на властивості бітуму

**Анотація.** За останні 20 років у дорожній практиці України значного поширення набули енергозберігаючі домішки, що застосовуються з метою зниження технологічних температур приготування й укладання асфальтобетонних сумішей. Згідно з даними, наданими виробниками цих домішок, застосування в'язучих, модифікованих енергозберігаючими домішками, дозволяє знизити температури приготування та укладання асфальтобетонних сумішей на 20 ... 30 °C та істотно знизити викиди шкідливих речовин у виробництві. Метою виконаної роботи є порівняльна оцінка

впливу на властивості нафтових дорожніх бітумів енергозберігаючих домішок, що застосовуються в дорожній галузі України – Sasobit і Licomont BS 100, а також нової домішки Sarawax SX105. Для бітумів, модифікованих прийнятими в роботі енергозберігаючими домішками, були визначені стандартні показники якості відповідно до чинних національних стандартів. Крім цього додатково визначені показники, що більш повно характеризують властивості в'язучих: адгезійні показники; показники температурної чутливості в'язучих (еквіпенетраційна температура та індекс пенетрації, розрахований за еквіпенетраційною температурою); в'язкість у широкому температурному та швидкісному діапазоні; технологічні температури приготування та ущільнення сумішей, виготовлених на модифікованих в'язучих; крайові кути змочування в широкому температурному інтервалі. На підставі отриманих результатів встановлено, що всі прийняті в дослідженні домішки мають на бітум структуруючий вплив, що виражається в зниженні пенетрації за 25 °С, збільшенні температури розм'якшеності, зниженні дуктильності за 25 °С, значному розширенні інтервалу пластичності. Найбільший структуруючий ефект надає домішка Sarawax. В'язучі, модифіковані домішкою Sarawax, характеризуються не тільки значно збільшеною температурою розм'якшеності та істотним зниженням пенетрації, але й збільшенням адгезії та залишкової

пенетрації, зниженням температурної чутливості. Це у свою чергу повинно збільшувати міцність і водостійкість асфальтобетонів, виготовлених на модифікованих в'язучих. Для всіх розглянутих домішок не встановлено енергозберігаючого ефекту, що полягає в зниженні технологічних температур нагрівання в'язучого в процесі приготування асфальтобетонних сумішей та їхнього ущільнення, установлених як за температурно-в'язкістими залежностями, так і за температурними залежностями крайових кутів змочування.

**Ключові слова:** бітум, енергозберігаюча домішка, пенетрація, в'язкість, адгезія, крайовий кут змочування.

**Пиріг Ян Іванович**, к.т.н., ст. наук. співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, тел. + 38 098-44-66-268, e-mail: [pirig2000@gmail.com](mailto:pirig2000@gmail.com)

**Галкін Андрій Володимирович**, к.т.н., ст. наук. співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, тел. +38 067-799-64-32, e-mail: [a.galkin0906@gmail.com](mailto:a.galkin0906@gmail.com)

---